

施用生物质炭对大棚土壤特性、黄瓜品质和根结线虫病的影响^①

牛亚茹, 付祥峰, 邱良祝, 李恋卿*, 潘根兴

(南京农业大学农业资源与生态环境研究所, 南京 210095)

摘要: 选择长期种植黄瓜并发生根结线虫病的大棚, 设计生物质炭施用量为 0(C0)、24(C1)、48(C2)t/hm² 的田间试验, 研究生物质炭对黄瓜生长、品质以及根结线虫病的影响。结果表明: 生物质炭显著提高了土壤有机质、全氮、铵态氮、速效钾含量和 pH, 同时降低土壤体积质量 11.0% 以上, C2 处理黄瓜根系生物量较 C0 显著增加了 56.9%。与 C0 相比, C2 处理显著增加黄瓜可溶性糖和有机酸含量 25.0% 和 17.6%, C1 处理显著降低黄瓜硝酸盐含量 25.5%。C2 处理黄瓜根系单株卵块数比 C0 增加了 3.8 倍。施用生物质炭对黄瓜产量没有显著影响。研究结果说明, 蔬菜大棚土壤中施用生物质炭可改善土壤理化性状, 提高黄瓜品质, 但有增加根系卵块数的趋势。由于生物质炭与土壤、作物的相互作用会随时间的变化而改变, 因此, 生物质炭对大棚黄瓜品质和根结线虫病的影响效应需进一步长期观测。

关键词: 生物质炭; 黄瓜; 根结线虫; 品质

中图分类号: S642.2; S435.79 文献标识码: A

农业废弃物热裂解产生的生物质炭在农业生产上的应用近年来越来越受到关注。许多研究证实生物质炭能够增加农作物产量^[1-2], 在改善土壤结构、提高土壤速效养分、增强土壤微生物的繁殖力等方面具有良好的效果^[3-4]。同时, 张万杰等^[5]和张登晓等^[6]通过盆栽试验证明生物质炭能够增加蔬菜产量, 并减少蔬菜体内硝酸盐含量。生物质炭对根结线虫病害的研究近年来也受到关注。Huang 等^[7]将麻梨木制备的生物质炭适量施入土壤, 能减少水稻根结线虫引起的水稻根结线虫病害的发生。陈威等^[8]研究表明, 在适当的添加量下, 水稻秸秆生物质炭能够促进番茄生物量的积累, 对番茄作物感染根结线虫病具有一定的抑制作用。而生物质炭对大棚黄瓜根结线虫的影响鲜有报道。

在蔬菜产业中, 病虫害是影响蔬菜产量和品质的重要因素, 其中根结线虫对作物生长的危害逐渐严重^[9]。根结线虫病作为主要的土传病害之一, 不仅直接危害作物, 还会和其他病原物互作造成复合感染, 如伴随着枯萎病、根腐病等真菌病害的发生^[10-11]。病害发生后, 一般减产 10%~20%, 严重达 75% 以上^[12]。目前对根结线虫的防治主要以化学防治为主,

由于化学杀线剂的毒性强、残留高, 对人类和环境造成了严重的危害^[13]。同时, 设施蔬菜生产由于无雨水淋洗, 肥料投入大、复种指数高等问题, 在一定种植年限后, 土壤质量退化、微生态环境恶化、病害加重, 致使土地可持续利用能力下降, 从而影响蔬菜的产量与品质^[14-16]。因此, 在蔬菜生产过程中如何防治根结线虫病、提高蔬菜品质和产量成为大棚蔬菜高产优质的主要挑战。

因此, 本研究选择发生根结线虫病的黄瓜种植大棚, 通过田间试验研究施用生物质炭对黄瓜生长、品质以及根结线虫病的影响, 以为生物质炭在蔬菜优质、安全生产上的应用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验田位于山东省潍坊市寿光市文家街道北潘曲村(36°51'N, 118°40'E), 选择发生根结线虫病(鉴定为南方根结线虫), 长期种植黄瓜的蔬菜大棚进行。该地处鲁中北部沿海平原区, 属暖温带季风区大陆性气候。年平均温度 13.2, 年平均降雨量为 708.4 mm。试验地耕作方式为每年春秋两季种植两季黄瓜。供试土

基金项目: 农业科技成果转化资金项目(2013GB23600666)资助。

* 通讯作者(lqli@njau.edu.cn)

作者简介: 牛亚茹(1992—), 女, 河南许昌人, 硕士研究生, 主要从事土壤与环境质量及管理研究。E-mail: 2013103075@njau.edu.cn

壤为褐土,土壤 pH(H₂O) 为 7.50,有机碳 14.82 g/kg,全氮 1.86 g/kg,有效磷 75.48 mg/kg,速效钾 413.72 mg/kg。

1.2 试验材料

供试生物质炭由南京勤丰秸秆研发有限公司提

供,其炭化原料为水稻秸秆,炭化温度为 550~650℃,过 2 mm 筛,备用。生物质炭的基本性质见表 1。供试黄瓜(*Cucumis sativus* L.)品种为“悦龙一号”,购买于寿光南潘育苗基地(山东省寿光市文家工业园)。

表 1 生物质炭基本性质
Table 1 Basic properties of tested biochar

pH (H ₂ O)	总碳 (g/kg)	全氮 (g/kg)	全磷 (g/kg)	全钾 (g/kg)	可溶性碳 (g/kg)	灰分 (g/kg)
10.3	232.9	9.0	1.5	11.7	0.86	374

1.3 试验设计

试验设置 3 个生物质炭施用量水平,分别为 24 t/hm² (C1)、48 t/hm² (C2) 和不施加生物质炭(C0),在黄瓜苗移栽前将生物质炭均匀撒在土壤表面,翻耕与 0~20 cm 土壤混匀,耙平。每个处理 4 次重复,共 12 个小区,采用随机区组排列,小区面积为 3.25 m² (0.65 m × 5 m),小区间起埂隔开。于 2015 年 4 月 4 日移栽黄瓜苗,各小区采用长势均一的健康黄瓜苗 30 株种植。

试验田采用常规水肥管理。施用 500 kg/hm² 复合肥(N:P₂O₅:K₂O=15:5:20)和 18 t/hm² 有机肥(有机质≥45%,N+P₂O₅+K₂O≥5%)作基肥。在黄瓜结瓜期每周追施 250 kg/hm² 复合肥(N:P₂O₅:K₂O=20:20:20)。田间施用复合肥和有机肥均由戴威农业科技发展股份有限公司提供。

1.4 样品采集与处理

黄瓜于 5 月 3 日开始采摘至 7 月 20 日采摘结束。结瓜初期,每小区随机采集 4 条成熟商品黄瓜,用于测定黄瓜的品质。采摘完成后,分离茎叶和根系,每小区的所有黄瓜根系全部挖出,采集根围土壤样品。将根系和土壤样品放在保鲜箱中带回实验室,于 4 冰箱保存。土壤样品掰碎、剔除大中型土壤动物及根茬等,供土壤线虫分离和土壤理化性质的分析。

1.5 测定项目和方法

1.5.1 土壤理化性质测定 参照《土壤农化分析》^[17] 中相关方法进行土壤理化性质的测定。

1.5.2 黄瓜产量及根茎叶干重 黄瓜分次采摘,共采收 19 次,各小区采摘成熟商品黄瓜称量计产,最后估算总产量。将根系和茎叶用自来水冲洗后,用蒸馏水冲洗干净,测定根系卵块数和单个卵块中的虫卵数,之后烘干测定根干重。将茎叶和根分别放入烘箱中 105℃ 杀青 30 min,75℃ 烘干至恒重,称重,计算各小区根系和茎叶干物质重。

1.5.3 黄瓜品质的测定 黄瓜果实中可溶性糖测定采用蒽酮比色法;有机酸测定采用水浴提取-碱液

滴定法;硝酸盐含量测定采用水杨酸比色法^[18]。

1.5.4 单株根系卵块数的测定 植株的根先用自来水清洗,再用蒸馏水洗净,干净纱布吸干水分,置于 0.1 g/L 伊红 Y(eosin-Y) 水溶液中,室温下染色 30 min,统计黄瓜根系单株卵块数^[19]。

1.5.5 单个卵块卵粒数的测定 根据 Terefe 等^[20] 的方法并略作修改后测定单个卵块的卵粒数。各处理随机选取 10 棵黄瓜根系,用镊子将卵块从根系中挑出,单株根系选取大小一致的卵块 10 个,加入 1 ml 0.5% NaOCl 溶液,强力振荡 2 min。将卵悬液定容至 5 ml,吸取 20 μl 观察、计数。重复 5 次。

1.5.6 土壤中根结线虫二龄幼虫(J2)数量的测定 土壤中线虫的分离提取采用蔗糖浮选离心法^[21]。线虫总数通过 Olympus ZX10 体视显微镜直接计数,将土壤线虫数量换算成 100 g 干土中线虫的数量,然后每个样品随机抽取 100~200 条线虫进行制片,于 Olympus BX51 光学显微镜下进行线虫形态鉴定。

1.6 数据分析

试验处理间的比较采用单因素方差分析(ANOVA),如差异显著($P<0.05$),再用 Duncan's 测验进行具体比较。试验数据和图表制作采用 Excel 2013 处理,采用 SPSS 20.0 软件进行统计分析。测定结果数据均以平均值±标准误的形式表示。

2 结果与分析

2.1 生物质炭对土壤理化性状的影响

生物质炭对土壤理化性质的影响见表 2。施用生物质炭显著提高土壤 pH,同时降低土壤体积质量,C2 处理土壤体积质量与 C0 处理相比显著降低 12.6%。施用生物质炭能显著增加土壤有机碳和全氮的含量,C1 和 C2 处理土壤有机碳含量比 C0 分别增加了 22.4%、37.2%,C2 处理土壤全氮含量比 C0 显著提高 10.2%。同时,生物质炭影响土壤速效养分含量。由表 2 可知,C2 处理土壤铵态氮和速效钾含量与 C0 处理相比分别显著增加了 53.3% 和 43.7%,而

表 2 生物质炭对土壤理化性质的影响
Table 2 Effects of biochar on soil physical and chemical properties

处理	pH (H ₂ O)	电导率 (μS/cm)	体积质量 (g/cm ³)	有机碳 (g/kg)	全氮 (g/kg)	铵态氮 (mg/kg)	硝态氮 (mg/kg)	有效磷 (mg/kg)	速效钾 (mg/kg)
C0	7.53 ± 0.02 b	593.5 ± 25.4 a	1.27 ± 0.01 a	15.84 ± 0.26 b	2.05 ± 0.01 b	0.45 ± 0.06 b	55.90 ± 4.78 a	57.12 ± 6.13 a	349.02 ± 22.47 b
C1	7.68 ± 0.03 a	584.1 ± 32.0 a	1.13 ± 0.04 b	19.38 ± 0.76 a	2.14 ± 0.03 ab	0.51 ± 0.10 b	59.86 ± 6.23 a	56.71 ± 2.59 a	420.19 ± 23.10 b
C2	7.70 ± 0.05 a	667.3 ± 30.8 a	1.11 ± 0.03 b	21.73 ± 1.38 a	2.26 ± 0.08 a	0.69 ± 0.05 a	63.11 ± 7.11 a	51.90 ± 6.15 a	501.59 ± 24.76 a

注：同列数据小写字母不同表示处理间差异达到 $P < 0.05$ 显著水平，下表同。

低用量水平(C1)下没有达到显著性差异。此外，生物质炭对土壤硝态氮和有效磷的含量没有显著改变。

2.2 生物质炭对黄瓜生长及品质的影响

由表 3 可知，C2 处理下黄瓜根部干重较 C0 处理显著提高了 56.9%，而 C1 处理下黄瓜茎叶和根干重无显著差异。虽然 C0 处理产量的平均值高于 C1、C2 处理，但由于测产是通过 19 次采摘称重统计的，C0 处理的产量变异性较大(表 3)，经统计检验，C2、C1 处理与 C0 相对对黄瓜产量均没有显著影响($P > 0.05$)。

表 3 生物质炭对黄瓜生物量的影响
Table 3 Effects of biochar on cucumber biomass

处理	产量(t/hm ²)	茎叶干重(g/株)	根干重(g/株)
C0	163.3 ± 8.35 a	47.82 ± 1.25 a	0.51 ± 0.03 b
C1	145.1 ± 3.93 a	50.50 ± 0.54 a	0.73 ± 0.03 ab
C2	151.6 ± 4.34 a	47.13 ± 1.39 a	0.80 ± 0.13 a

由表 4 可知，生物质炭添加显著增加黄瓜果实可溶性糖和有机酸的含量，且随着生物质炭用量的增加均呈

表 5 生物质炭对根结线虫二龄幼虫、卵块和卵粒数量的影响
Table 5 Effects of biochar on numbers of J2 root-knot nematode, egg masses and eggs

处理	土壤根结线虫 J2 数量 (条/100g 干土)	根系卵块数 (个/株)	每克根卵块数 (个/g)	单个卵块卵粒数 (粒/卵块)
C0	207.50 ± 32.91 a	15 ± 3 b	28.35 ± 4.08 b	655 ± 126 a
C1	169.51 ± 14.66 a	39 ± 11 ab	51.46 ± 12.32 ab	707 ± 115 a
C2	185.56 ± 40.85 a	72 ± 17 a	98.57 ± 28.74 a	678 ± 152 a

3 讨论

3.1 生物质炭对土壤理化性状的影响

研究结果表明，生物质炭通过降低土壤体积质量，增加土壤有机碳、铵态氮、速效钾等养分含量，达到改善土壤质量、提高养分有效性的效果，与之前的研究结果^[22-24]相似。可能是因为生物质炭具有丰富的孔隙结构，促进土壤团聚体的形成，有效地改善土壤的通气状况^[24]。生物质炭较大的比表面积，带有负电荷，具有较高的 CEC^[23]，可以提高土壤对养分离子钾和 NH₄⁺ 的吸附能力，增加土壤铵态氮和速效钾的含量。并且生物质炭自身含有一定量的养分，

表 4 生物质炭对黄瓜可溶性糖、有机酸和硝酸盐含量的影响

Table 4 Effects of biochar on contents of soluble sugar, organic acid and nitrate in cucumber

处理	硝酸盐(mg/kg)	可溶性糖(g/kg)	有机酸(g/kg)
C0	70.40 ± 5.93 a	2.77 ± 0.22 b	13.58 ± 0.66 b
C1	52.44 ± 4.22 b	3.15 ± 0.14 ab	15.11 ± 0.74 ab
C2	61.57 ± 1.55 ab	3.53 ± 0.18 a	16.01 ± 0.72 a

现增加的趋势，其中 C2 处理与 C0 处理相比分别显著增加了 25.0% 和 17.6%。C1 处理黄瓜硝酸盐的含量比 C0 显著降低了 25.5%，C1 和 C2 之间没有显著差异。

2.3 生物质炭处理对黄瓜根结线虫病的影响

表 5 为不同用量生物质炭对根结线虫密度和繁殖的影响，如表所示，各处理间土壤中根结线虫二龄幼虫数量、单个卵块卵粒数无显著差异。与 C0 处理相比，C2 处理单株黄瓜根系的卵块数和单位根重的卵块数分别显著增加 3.8 倍、2.5 倍，而 C1 处理以上各项指标与 C0 处理相比均无显著差异。

对土壤有效态养分的提高有重要的贡献。本试验显示，土壤有机碳随生物质炭用量的增加而显著提高，这是由于生物质炭主要是以具有较高稳定性的高度芳香化有机物为主，在土壤环境中具有较高的稳定性^[25-26]。

3.2 生物质炭对黄瓜生长及品质的影响

生物质炭对作物生长及产量的研究在国内外已有大量报道^[1-2,4,27-28]，并且在菠菜、辣椒等蔬菜种植中也有增产效应^[5,29]。然而生物质炭的增产效应受生物质炭自身特性、土壤类型、农田管理措施等诸多因素制约，具有很大的不确定性^[28]。本试验结果表明，不同用量的生物质炭施入土壤显著提高黄瓜根系的

生物量,这与生物质炭对土壤理化性质的改善有关。一方面生物质炭降低土壤体积质量,提高土壤的通气性,为根系的伸展提供足够的空间;另一方面生物质炭能够提高土壤营养元素的有效性,调节土壤的供肥状况。但本研究表明,施用生物质炭对黄瓜产量和茎叶干重均没有影响。Abiven 等^[30]指出,生物质炭在低肥力土壤中的增产效应大于高肥力土壤。Haefele 等^[31]将稻壳生物质炭施入 3 种肥力不同的土壤发现,生物质炭应用于低肥力土壤作物产量显著提高,而在中、高肥力土壤上没有增产效果。而本研究所选的试验地土壤肥力较高(土壤有机质 25.5 g/kg,全氮 1.8 g/kg),黄瓜种植过程中施肥量也较大,这些因素均可能削弱了生物质炭的增产效应。此外,生物质炭对作物生长的影响存在年际的变异。Major 等^[32]研究发现,第 1 年施用生物质炭处理与 CK 相比,玉米产量无显著变化;而在施炭后的第 2~4 年中,施炭处理玉米产量大幅度增加。本试验仅基于黄瓜一个生长季的研究,生物质炭对黄瓜产量的影响需要进一步持续观察。

本研究发现生物质炭显著降低黄瓜果实中硝酸盐的含量,这与张万杰等^[5]和刘玉学等^[33]的研究结果相似。一方面可能因为生物质炭对土壤中的铵根离子的吸附性较强,减少植株对氮素的吸收。另一方面,可能由于生物质炭能够调控土壤含水量进而抑制作物蒸腾作用,减少作物对氮素的吸收,进而降低蔬菜中硝酸盐的积累^[34]。施用生物质炭可显著增加黄瓜果实中可溶性糖和有机酸的含量。生物质炭能够有效保持土壤含水量^[4,35-36],而土壤含水量控制在适宜水平有助于提高果蔬中可溶性糖含量^[37]。综上,生物质炭在温室大棚蔬菜种植中能够有效改善蔬菜品质。

3.3 生物质炭对大棚黄瓜生产中根结线虫病的影响

本研究发现,在高用量生物质炭处理(C2)下黄瓜根系单株卵块数及单位根重卵块数显著提高,说明生物质炭施用量的提高在一定程度上促进了根结线虫的生长繁殖。但 Huang 等^[7]研究发现生物质炭用量在 1.2% 以上水平能显著降低水稻根结线虫病。这可能与生物质炭和植物种类等因素有关。George 等^[38]研究了 5 种不同材料(4 种生物质炭和沸石)对胡萝卜穿刺短体线虫的影响,发现松树皮、松针等生物质炭对线虫的侵染均有抑制作用,但松木生物质炭对线虫没有抑制效应,说明生物质炭对根结线虫病的影响因生物质炭种类、用量等的不同而具有不同的效应。此外,根结线虫病主要发生在作物根系上,以侧根和须根最易受害^[39]。本试验显示生物质炭对根系生长具有促进作用。已有研究表明,施用生物质炭显著促进

番茄和大麦等作物须根(或侧根)的生长^[40,8]。根系体积的增大,特别是须根增多,从而增加了根结线虫的侵染位点,这可能也是生物质炭增加黄瓜根结线虫病发病率的原因之一。此外,根结线虫在土壤中的孵化、存活及完成生活史与土壤环境密切相关,如土壤中的离子、酸碱性、温度、湿度、土壤类型和微生物等^[41]。本试验中生物质炭降低土壤体积质量、增加土壤通气性和土壤有机质含量、改变土壤环境,进而影响根结线虫的生存与繁殖。生物质炭对根结线虫病的影响可能因生物质炭种类、施用剂量、土壤类型以及作物种类的不同而存在差异,而生物质炭与土壤的相互作用以及生物质炭对植物的促根效应也会随着施炭时间的推移而发生改变,这些变化均会影响线虫对施炭措施的响应。因此,生物质炭对根结线虫生长的效应需要进一步进行长期的试验研究。

4 结论

本试验研究结果表明,施用生物质炭显著提高土壤有机质、全氮、铵态氮和速效钾的含量,降低土壤体积质量。土壤中添加生物质炭显著增加黄瓜果实中可溶性糖和有机酸的含量,降低黄瓜硝酸盐含量,改善黄瓜品质。高施炭量条件下显著提高黄瓜根系生物量,增加了根结线虫卵块数,但对黄瓜产量没有显著影响。

参考文献:

- [1] Zhang A, Cui L, Pan G, et al. Effect of biochar amendment on yield and methane and nitrous oxide emissions from a rice paddy from Tai Lake plain, China[J]. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2010, 139(4): 469-475
- [2] Liu X, Zhang A, Ji C, et al. Biochar's effect on crop productivity and the dependence on experimental conditions-a meta-analysis of literature data[J]. *Plant and Soil*, 2013, 373(1/2): 583-594
- [3] Steiner C, Teixeira W G, Lehmann J, et al. Microbial response to charcoal amendments of highly weathered soils and Amazonian Dark Earths in Central Amazonia-preliminary results//Woods WI. Amazonian dark earths: Explorations in space and time[M]. Berlin Heidelberg: Springer, 2004: 195-212
- [4] Zhang D, Pan G, Wu G, et al. Biochar helps enhance maize productivity and reduce greenhouse gas emissions under balanced fertilization in a rainfed low fertility inceptisol[J]. *Chemosphere*, 2016, 142: 106-113
- [5] 张万杰,李志芳,张庆忠,等. 生物质炭和氮肥配施对菠菜产量和硝酸盐含量的影响[J]. *农业环境科学学报*, 2011, 30(10): 1946-1952
- [6] 张登晓,周惠民,潘根兴,等. 城市园林废弃物生物质炭对小白菜生长、硝酸盐含量及氮素利用率的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2014, 20(6): 1569-1576

- [7] Huang W, Ji H, Gheysen G, et al. Biochar-amended potting medium reduces the susceptibility of rice to root-knot nematode infections[J]. *BMC Plant Biology*, 2015, 15(1): 1–15
- [8] 陈威, 胡学玉, 张阳阳, 等. 番茄根区土壤线虫群落变化对生物炭输入响应[J]. *生态环境学报*, 2015, 24(6): 998–1003
- [9] Sikora R A, Fernández E. Nematode parasites of vegetables// Luc M, Sikora R A, Bridge J. *Plant parasitic nematodes in subtropical and tropical agriculture*[M]. Wallingford, UK: CAB International, 2005: 319–392
- [10] Mai W F, Abawi G S. Interactions among root-knot nematodes and *Fusarium wilt* fungi on host plants[J]. *Annual Review of Phytopathology*, 1987, 25(1): 317–338
- [11] Vangandy S D, Kirkpatrick J D, Golden J. The nature and role of metabolic leakage from root-knot nematode galls and infection by *Rhizoctonia solani*[J]. *Journal of Nematology*, 1977, 19: 113–121
- [12] Sasser J N, Eisenback J D, Carter C C, et al. The international *Meloidogyne* project-its goals and accomplishments[J]. *Annual Review of Phytopathology*, 1983, 21(1): 271–288
- [13] Ruza L O. Physical, chemical and environmental properties of selected chemical alternatives for the pre-plant use of methyl bromide as soil fumigant[J]. *Pest Manage Science*, 2006, 62(2): 99–113
- [14] 黎宁, 李华兴, 朱凤娇, 等. 菜园土壤微生物生态特征与土壤理化性质的关系[J]. *应用生态学报*, 2006, 17(2): 285–290
- [15] Zhou X, Yu G, Wu F. Effects of intercropping cucumber with onion or garlic on soil enzyme activities, microbial communities and cucumber yield[J]. *European Journal of Soil Biology*, 2011, 47(5): 279–287
- [16] Zhou X, Gao D, Liu J, et al. Changes in rhizosphere soil microbial communities in a continuously monocropped cucumber (*Cucumis sativus* L.) system[J]. *European Journal of Soil Biology*, 2014, 60: 1–8
- [17] 鲍士旦. *土壤农化分析*[M]. 3版. 北京: 中国农业出版社, 2000
- [18] 王学奎. *植物生理生化实验原理和技术*[M]. 北京: 高等教育出版社, 2005
- [19] Garcia L E, Sanchez-Puerta M V. Characterization of a root-knot nematode population of *Meloidogyne arenaria* from Tupungato (Mendoza, Argentina) [J]. *Journal of Nematology*, 2012, 44(3): 291
- [20] Terefe M, Tefera T, Sakhujia P K. Effect of a formulation of *Bacillus firmus* on root-knot nematode *Meloidogyne incognita* infestation and the growth of tomato plants in the greenhouse and nursery[J]. *Journal of Invertebrate Pathology*, 2009, 100(2): 94–99
- [21] 刘满强, 黄菁华, 陈小云, 等. 地上部植食者褐飞虱对不同水稻品种土壤线虫群落的影响[J]. *生物多样性*, 2009, 17(5): 431–439
- [22] Lehmann J, Rillig M C, Thies J, et al. Biochar effects on soil biota-A review[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2011, 43(9): 1812–1836
- [23] Taghizadeh-Toosi A, Clough T J, Sherlock R R, et al. Biochar adsorbed ammonia is bioavailable[J]. *Plant and Soil*, 2012, 350(1–2): 57–69
- [24] Sun F, Lu S. Biochars improve aggregate stability, water retention, and pore-space properties of clayey soil[J]. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 2014, 177(1): 26–33
- [25] Kuzyakov Y, Bogomolova I, Glaser B. Biochar stability in soil: Decomposition during eight years and transformation as assessed by compound-specific ^{14}C analysis[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2014, 70: 229–236
- [26] Wang J, Xiong Z, Kuzyakov Y. Biochar stability in soil: Meta-analysis of decomposition and priming effects[J]. *GCB Bioenergy*, 2015: 1–12
- [27] 李九玉, 赵安珍, 袁金华, 等. 农业废弃物制备的生物炭对红壤酸度和油菜产量的影响[J]. *土壤*, 2015, 47(2): 334–339
- [28] Jeffery S, Verheijen F G A, Van D V M, et al. A quantitative review of the effects of biochar application to soils on crop productivity using meta-analysis[J]. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2011, 144(1): 175–187
- [29] Pudasaini K, Ashwath N, Walsh K, et al. Biochar improves plant growth and reduces nutrient leaching in red clay loam and sandy loam[J]. *Hydro Nepal: Journal of Water, Energy and Environment*, 2012, 11(1): 86–90
- [30] Abiven S, Schmidt M W I, Lehmann J. Biochar by design[J]. *Nature Geoscience*, 2014, 7(5): 326–327
- [31] Haefele S M, Konboon Y, Wongboon W, et al. Effects and fate of biochar from rice residues in rice-based systems[J]. *Field Crops Research*, 2011, 121(3): 430–440
- [32] Major J, Rondon M, Molina D, et al. Maize yield and nutrition during 4 years after biochar application to a Colombian savanna oxisol[J]. *Plant and Soil*, 2010, 333: 117–128
- [33] 刘玉学, 王耀锋, 吕豪豪, 等. 不同稻秆炭和竹炭施用水平对小青菜产量、品质以及土壤理化性质的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2013, 19(6): 1438–1444
- [34] 李艳梅, 杨俊刚, 孙焱鑫, 等. 炭基氮肥与灌水对温室番茄产量、品质及土壤硝态氮残留的影响[J]. *农业环境科学学报*, 2015, 34(10): 1965–1972
- [35] Saarnio S, Heimonen K, Kettunen R. Biochar addition indirectly affects N_2O emissions via soil moisture and plant N uptake[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2013, 58: 99–106
- [36] 刘园, Khan M J, 靳海洋, 等. 秸秆生物炭对潮土作物产量和土壤性状的影响[J]. *土壤学报*, 2015, 52(4): 849–858
- [37] Li Y J, Yuan B Z, Bie Z L, et al. Effect of drip irrigation criteria on yield and quality of muskmelon grown in greenhouse conditions[J]. *Agricultural Water Management*, 2012, 109: 30–35
- [38] George C, Kohler J, Rillig M C. Biochars reduce infection rates of the root-lesion nematode *Pratylenchus penetrans* and associated biomass loss in carrot[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2016, 95: 11–18
- [39] Elsen A, Beeterens R, Swennen R, et al. Effects of an

arbuscular mycorrhizal fungus and two plant-parasitic nematodes on *Musa* genotypes differing in root morphology[J]. *Biology and Fertility of Soils*, 2003, 38(6): 367–376

[40] Prendergast-Miller M T, Duvall M, Sohi S P. Biochar-root

interactions are mediated by biochar nutrient content and impacts on soil nutrient availability[J]. *European Journal of Soil Science*, 2014, 65(1): 173–185

[41] 伏召辉, 杜超, 仵均祥. 温湿度及酸碱度对南方根结线虫生长发育的影响[J]. *北方园艺*, 2012(6): 137–140

Effects of Biochar on Soil Properties, Cucumber Quality and Root-knot Nematode Disease in Plastic Greenhouse

NIU Yaru, FU Xiangfeng, QIU Liangzhu, LI Lianqing*, PAN Genxing

(*Institute of Resource, Ecosystem and Environment of Agriculture, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China*)

Abstract: In order to explore the effects of biochar on the quality and the root-knot nematode of cucumber, an experiment was conducted in a plastic greenhouse with serious root-knot nematode disease after long-term of cucumber planting with three levels of biochar amendment designed as follows: C0 (no biochar, CK), C1 (biochar 24 t/hm²) and C2 (biochar 48 t/hm²). The results indicated that biochar addition significantly increased soil organic matter, total N, NH₄⁺, available K and pH, and decreased soil bulk density by more than 11.0%. Compared to CK, C2 treatment enhanced cucumber root biomass, soluble sugar content, organic acid content, egg masses by 56.9%, 25.0%, 17.6% and 3.8 times, respectively, while C1 treatment decreased nitrate content by 25.5%. However, biochar had no significant effect on cucumber yield. The experiment indicated that biochar can improve soil properties, enhance cucumber quality, while increase the egg masses on cucumber roots. However, long-term observation is necessary in the future studies because the interaction of biochar-soil-crop system is changeable with time.

Key words: Biochar; Cucumber; Root-knot nematode; Cucumber quality